

砂地盤を伝わる応力波による物体の跳躍現象

大阪工業大学八幡工学実験場 フェロー ○園田 恵一郎

大阪市立大学大学院工学研究科 正 高田 直俊

大阪市立大学大学院工学研究科（現大阪府） 藤間 和貴

目的 1995年の兵庫県南部地震で被災した構造物の中には上下動による鉛直衝撃破壊と思われる損傷・破壊形態が多数見られた。また墓石や石碑などの跳躍現象も報告されている¹⁾。鉛直衝撃動に起因すると考えられるこのような構造物の破壊現象を室内で再現する実験として、水中線爆による衝撃圧を利用して、石膏・モルタル柱模型の引張破壊・圧潰、金属パイプ柱模型の環状座屈挙動を調べてきた^{2,3)}。また、墓石や門傘等の跳躍現象の再現を行ってきた⁴⁾。今回は砂柱の下に水中線爆による衝撃圧を与えて、砂柱を伝わる応力波によって上面に置いた物体の跳躍と応力波の伝播挙動を調べた。

実験概要 図-1に実験装置を示す。実験装置は衝撃圧発生部と砂柱円筒・圧力室からなる。衝撃圧発生部は放物面を持つ水を満たした鋼製容器で、放物面の焦点においた幅2mm長さ2cmのアルミ箔にコンデンサーから高圧電流を流して爆発させ、その圧力を砂柱円筒の底板に（円筒との間にOリングのクッションを入れている）受けて砂柱（豊浦標準砂 Dr=95%で作製）の中に応力波を発生させる。砂柱上面は加圧板を置いて、空気圧によって砂柱に載荷圧を加えることができる。跳躍物体は加圧板の上に置く。計測は物体の跳躍（ビデオカメラで撮影）のほか、砂柱内の加速度、底板に加わる衝撃圧である。空気圧、爆線に加える電気エネルギーを変えた実験を行った。

跳躍量 砂柱上面の加圧板上に置いた直径22mm、高さ70mmのジュラルミン柱（60g）の跳躍量と底板に加える衝撃圧の関係を図-2に示す。衝撃圧は爆線に加える電気エネルギーによって変化を与えている。図-3に圧力室内の空気圧（載荷圧）と跳躍量の関係を示す。同一電気エネルギー（したがって同一衝撃圧）に対して載荷圧の増大とともに跳躍量が増える。載荷圧とともに砂の変形係数（E）の増大と後述の応力低減率が小さくなるためである。

波速 図-4に底板の受ける衝撃圧と砂柱中に置いた3点の加速時計の記録例を示す（圧力計と加速度計の時間軸は計測機器が異なり、正しくは対応していない）。圧力計は短周期の波を記録しているが、加速度計の記録は半波に変わり、砂柱の上方で振幅が減っている。この時刻歴から求めた波速（衝撃圧の強さによってあまり変化しない）と載荷圧の関係は図-5のように、載荷圧の上昇とともに波速が増す。

応力波低減率 砂柱中を応力波が一次的に伝播すると仮定すると、応力波の波速 c 、砂の粒子速度 v 、砂地盤の密度 ρ から、応力波の応力 σ は、 $\sigma = \rho c v$ で算出される。 v は加速度を積分して求めた（図-4の例で25～50cm/s）。応力波が砂柱を伝播するときの距離による減衰を次のように定義する

$$\text{応力低減率} = (\text{ある地点の応力} - \text{その後方の応力}) / \text{ある地点の応力} / \text{距離}$$

図-6は載荷圧と応力低減率の関係で載荷圧が大きいと低減率は低下する。

キーワード 衝撃鉛直動、跳躍現象、応力波、水中線爆、減衰

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138 大阪市立大学 TEL 06-6605-2726

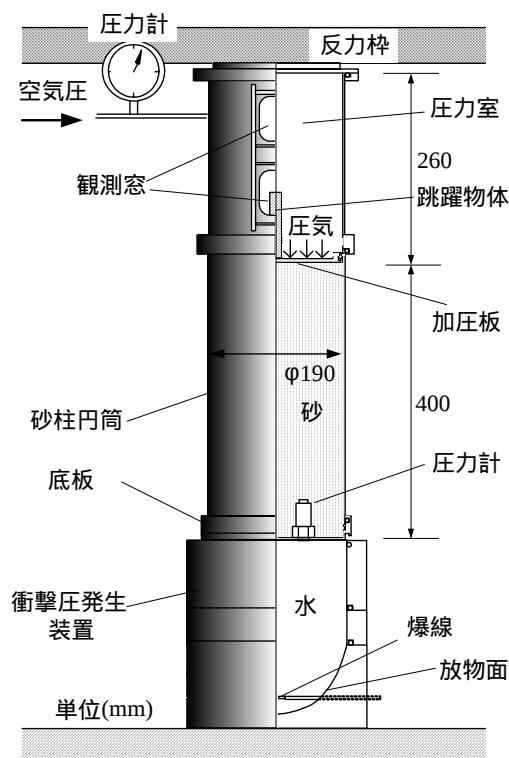


図-1 実験装置

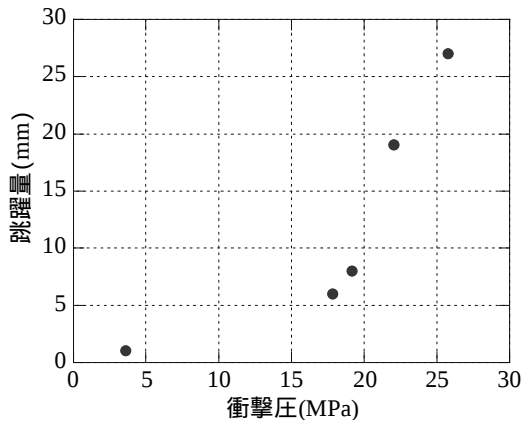


図-2 跳躍量と衝撃圧（载荷圧 0.2kPa）

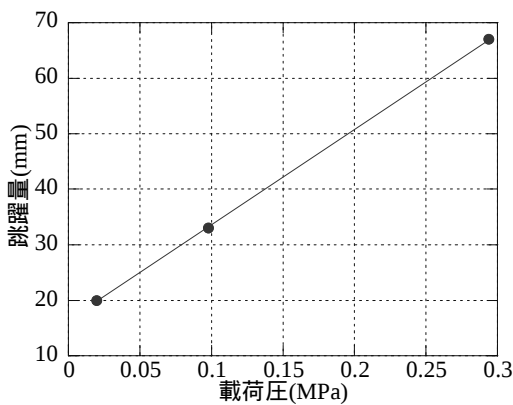
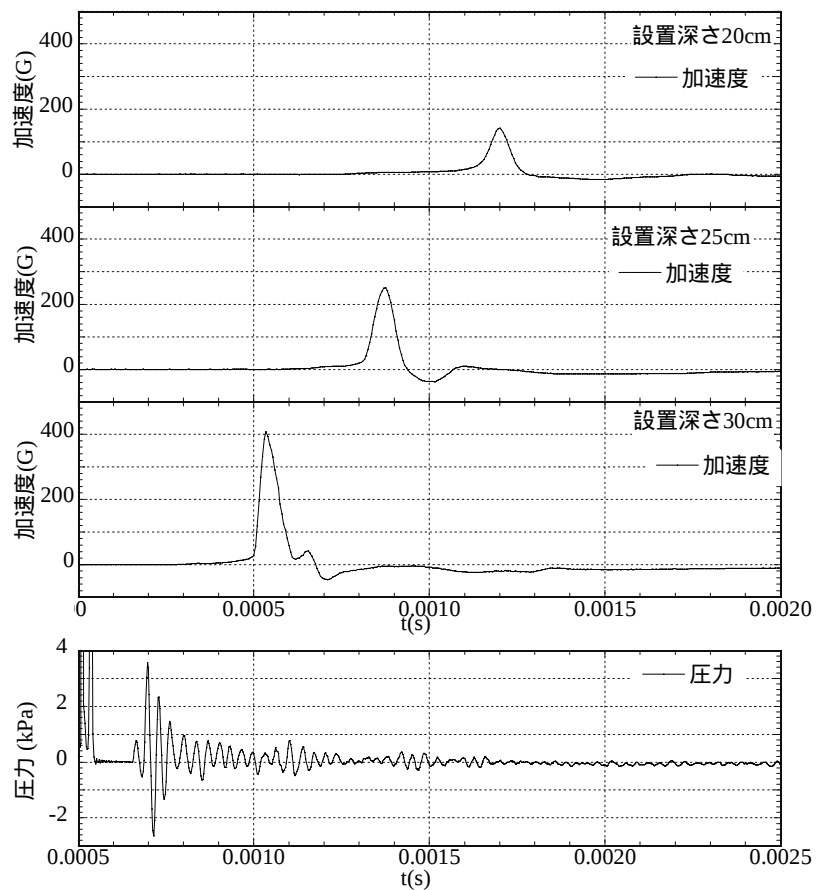
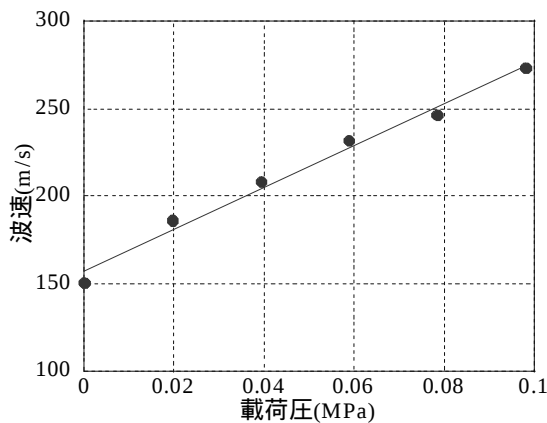
図-3 载荷圧と跳躍量（電気容量 10 μ F，電圧 7kV）図-4 加速度と圧力の時間履歴
（電気容量 10 μ F，電圧 7kV，载荷圧なし）

図-5 波速と载荷圧（30cm～20cm 間）

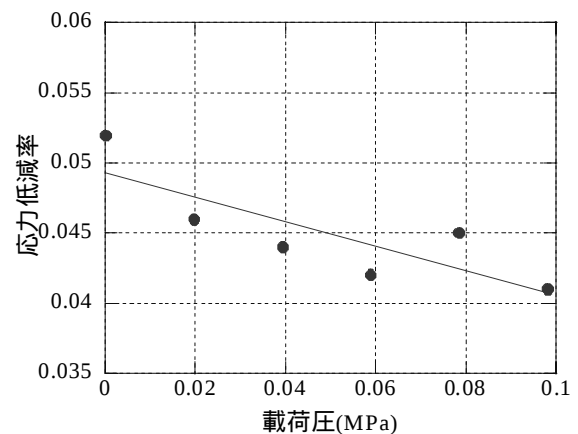


図-6 応力低減率と载荷圧（30cm～20cm 間）

まとめ 水中線爆による短周期の衝撃圧によって砂柱上の物体の跳躍現象が観測され，土被り圧相当の载荷圧が大きいほど応力波の波速が大きく，距離による減衰が小さいことが認められた．

参考文献

- 1) 服部：淡路島北部における兵庫県南部地震による地変と地震報告，地質ニュース No.535.pp.29-51，No.536.pp.51-68,1999
- 2) 石丸・林・園田・高田：高架橋 RC 橋脚の衝撃破壊について-モデル橋脚による線爆実験による検討-，第 53 回土木学会，-B490，1998
- 3) 園田・高田・小林・石丸・林・奥田：水中線爆による高架橋 RC 橋脚モデルの衝撃破壊実験，第 4 回構造物の衝撃に関するシンポジウム.pp251-256，1998
- 4) 園田・高田・小林・高橋・菅野・横地・中原：兵庫県南部地震での物体の跳躍現象から見た衝撃的地震動の検証，第 5 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，pp.135-140,2000